

**MODIFIKASI LAPISAN TiO_2 DALAM *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)
DAN EFEK PEDOT:PSS DALAM SEL SURYA ORGANIK
BERBASIS MEH-PPV**

TESIS

**Disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Magister
Program Studi Ilmu Fisika**



**Oleh
Linda Kusumaning Tyas
S911502004**

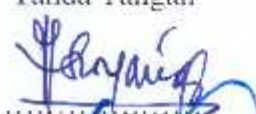

**PASCASARJANA
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2017**

**MODIFIKASI LAPISAN TiO_2 DALAM *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)
DAN EFEK PEDOT:PSS DALAM SEL SURYA ORGANIK
BERBASIS MEH-PPV**

TESIS

Oleh

**Linda Kusumaning Tyas
S911502004**

Komisi Pembimbing	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Pembimbing I	Dr. Eng. Risa Suryana, M.Si NIP. 197108312000031005		9/11/2017
Pembimbing II	Dr. Fahru Nurosyid, M.Si NIP. 197210132000031002		21/11/2017

**Telah dinyatakan memenuhi syarat
pada tanggal ...7-12-... 2017**

Kepala Program Studi S2 Ilmu Fisika
Pasca Sarjana UNS



Prof. Drs. Cari, M.A., M.Sc., Ph.D
NIP. 196103061985031002

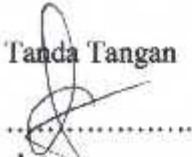
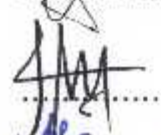

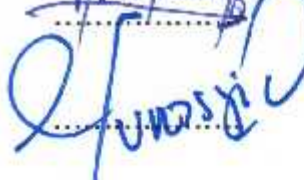
**MODIFIKASI LAPISAN TiO_2 DALAM *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)
DAN EFEK PEDOT:PSS DALAM SEL SURYA ORGANIK
BERBASIS MEH-PPV**

TESIS

Oleh
Linda Kusumaning Tyas
S911502004

Telah dipertahankan di depan penguji
dan dinyatakan telah memenuhi syarat
pada tanggal ...28... Desember..... 2017

Tim Penguji:

Jabatan	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Ketua	Prof. Drs. Cari, M.A., M.Sc., Ph.D NIP. 196103061985031002		19/01/2018
Sekretaris	Dr. Yofentina Iriani, M.Si NIP. 197112271997022001		12/01/2018
Anggota Penguji	Dr. Eng. Risa Suryana, M.Si NIP. 197108312000031005		8/01/2018
Anggota Penguji	Dr. Fahru Nurosyid, M.Si NIP. 197210132000031002		10/01/2018

Mengetahui :

Direktur
Pasca Sarjana UNS



Prof. Dr. M. Furqon Hidayatullah, M.Pd
NIP. 196007271987021001

Kepala Program Studi
S2 Ilmu Fisika

Prof. Drs. Cari, M.A., M.Sc., Ph.D
NIP. 196103061985031002

**MODIFIKASI LAPISAN TiO₂ DALAM *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)
DAN EFEK PEDOT:PSS DALAM SEL SURYA ORGANIK
BERBASIS MEH-PPV**

Linda Kusumaning Tyas
Program Studi Ilmu Fisika, Pascasarjana
Universitas Sebelas Maret, Surakarta

ABSTRAK

Penelitian ini terdiri dari dua yaitu modifikasi lapisan TiO₂ dalam DSSC dan variasi lapisan MEH-PPV dengan atau tanpa PEDOT:PSS dalam sel surya organik. Modifikasi lapisan TiO₂ dalam bentuk nanofiber dibuat dengan metode *electrospinning*. Larutan TiO₂ disintesis dari campuran bahan TTIP, PVP, acetic acid dan etanol. Tegangan *electrospinning* adalah 15 kV. Jarak ujung jarum ke kolektor adalah 15 cm. Variasi waktu pelapisan adalah 10, 15, dan 20 menit. TiO₂ nanofiber dilapisi di atas FTO. Struktur DSSC terdiri dari FTO, TiO₂ nanofiber, lumut *dye*, elektrolit I/I³⁺, dan lapisan karbon sebagai katalis. Dari penampang lintang SEM diperoleh ketebalan TiO₂ nanofiber yang meningkat terhadap waktu pelapisan yaitu 34 μm (10 menit), 64 μm (15 menit) dan 77 μm (20 menit). Berdasarkan perhitungan terhadap hasil kurva *I-V* maka efisiensi DSSC maksimum pada waktu pelapisan 15 menit. Hal ini karena waktu pelapisan 15 menit memiliki ketebalan yang optimum sehingga waktu tinggal foton menjadi lebih lama dan elektron dapat berdifusi mencapai elektroda.

Pada sel surya organik seluruh pendeposisian menggunakan metode *spin coating*. Serbuk MEH-PPV seberat 0,05 gram dicampur dengan *chlorobenzene* sebanyak 1 ml. Deposisi lapisan MEH-PPV dengan atau tanpa PEDOT:PSS divariasikan jumlah lapisan yaitu 1, 2, 3, dan 4 lapis. Struktur sel surya organik dengan PEDOT:PSS terdiri dari FTO, TiO₂ nanopartikel, PEDOT:PSS, MEH-PPV, dan aluminium sebagai elektroda metal. Dari penampang lintang SEM diperoleh ketebalan MEH-PPV yang meningkat terhadap waktu pelapisan yaitu 0,85 μm (1 lapis), 1,14 μm (2 lapis), 2,26 μm (3 lapis), dan 5,44 μm (4 lapis). Berdasarkan perhitungan terhadap hasil kurva *I-V* maka efisiensi sel surya organik maksimum pada jumlah lapisan 4 lapis dengan PEDOT:PSS. Hal ini karena penambahan lapisan PEDOT:PSS akan membantu terkumpulnya *hole* dan membantu dalam transport elektron karena berkurangnya *defect* pada lapisan.

Kata kunci: *Dye Sensitized Solar Cell*, Sel Surya Organik, Modifikasi TiO₂, TiO₂ nanofiber, PEDOT:PSS, MEH-PPV

TiO₂ LAYER MODIFICATION IN DYE-SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) AND PEDOT:PSS EFFECT IN ORGANIC SOLAR CELL BASED MEH-PPV

Linda Kusumaning Tyas
Department of Physics
Sebelas Maret University, Surakarta

ABSTRACT

This research consists of two part i.e. modifications of the TiO₂ layer in DSSC and variation of MEH-PPV layers with or without PEDOT:PSS in organic solar cells. The modification of TiO₂ layers in the form of nanofiber was made by electrospinning method. The TiO₂ solution was synthesized from a mixture of TTIP, PVP, acetic acid, and ethanol. The electrospinning voltage was 15 kV. The distance of the tip of the needle to the collector was 15 cm. Variation of deposition time was 10, 15, and 20 minutes. TiO₂ nanofiber was coated into the FTO surface. The DSSC structure consisted of FTO, TiO₂ nanofiber, Bryophyta dye, electrolyte I⁻/I³⁻, and the carbon layer as a catalyst. From the cross-section of SEM was obtained that thickness of TiO₂ nanofiber increased as deposition time of 34 µm, 64 µm and 77 µm for 10 min, 15 min, and 20 min. Based on the calculation of the I-V curves, DSSC efficiency was highest at deposition time is 15 minutes. It is considered that the deposition time at 15 min is an optimum thickness so that the photons can stay longer and electrons can diffuse to reach the electrodes.

In the organic solar cells, all deposition was performed using the spin coating method. 0.05 gr MEH-PPV powder was mixed with 1 ml of chlorobenzene. Then it was deposited on the patterned FTO surface with or without PEDOT:PSS layer. PEDOT:PSS layer was varied at 1, 2, 3, and 4 layers. The structure of organic solar cells with PEDOT:PSS layer consisted of FTO, TiO₂ nanoparticles, PEDOT: PSS, MEH-PPV, and aluminum as metal contact. From the cross-section of SEM, the thickness of MEH-PPV increased as coating amount of 0.85 µm (1 layer), 1.14 µm (2 layers), 2.26 µm (3 layers), and 5.44 µm (4 layers). Based on the calculation of the I-V curves, the organic solar cells efficiency was highest at 4 layers with PEDOT:PSS layer. It considered that the addition of PEDOT:PSS layer will help the collecting hole and assist in the transport of electrons due to reduced defect in the layer.

Key Words: Dye Sensitized Solar Cell, Organic Solar Cells, TiO₂ modification, TiO₂ nanofiber, PEDOT:PSS, MEH-PPV

PERNYATAAN KEASLIAN DAN PERSYARATAN PUBLIKASI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa:

1. Tesis yang berjudul: **MODIFIKASI LAPISAN TiO_2 DALAM *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC) DAN EFEK PEDOT:PSS DALAM SEL SURYA ORGANIK BERBASIS MEH-PPV** adalah karya penelitian saya sendiri dan tidak terdapat karya ilmiah yang telah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik serta tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang tertulis dengan acuan yang disebutkan sumbernya, baik dalam naskah karangan dan daftar pustaka. Apabila ternyata di dalam naskah tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi, baik tesis beserta gelar Magister saya dibatalkan serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.
2. Publikasi sebagian atau keseluruhan isi tesis pada jurnal atau forum ilmiah harus menyertakan tim promotor sebagai *author* dan PPs UNS sebagai institusinya. Apabila saya melakukan pelanggaran dari ketentuan publikasi ini, maka saya bersedia mendapatkan sanksi akademik yang berlaku.

Surakarta,

2017



Linda Kusumaning Tyas
S911502004

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur hanya bagi Allah SWT, atas berkat nikmat, rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “**Modifikasi Larutan TiO_2 Dalam *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dan Efek PEDOT:PSS Dalam Sel Surya Organik Berbasis MEH-PPV**”. Dalam penyusunan tesis ini bertujuan untuk memenuhi sebagian persyaratan guna memperoleh gelar Magister pada Program Studi Ilmu Fisika Program Pascasarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Terima kasih banyak Penulis haturkan dalam kesempatan ini karena tanpa bantuan dari berbagai pihak, tesis ini tidak dapat terwujud. Diantaranya:

1. Bapak Prof. Dr. M. Furqon Hidayatullah, M.Pd, selaku Direktur Pascasarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta.
2. Bapak Prof. Drs. Cari, M.A., M.Sc., Ph.D, selaku Kepala Program Studi S2 Ilmu Fisika Pascasarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta.
3. Bapak Dr. Eng. Risa Suryana, M.Si selaku pembimbing I yang telah dengan sabar membimbing dan mengajari penulis, serta memberikan semangat kepada penulis untuk dapat menyelesaikan tesis ini.
4. Bapak Dr. Fahru Nurosyid, M.Si selaku pembimbing II yang telah banyak memberikan banyak bimbingan dan arahan serta motivasi kepada penulis sehingga mampu menyelesaikan tesis ini.
5. Bapak/Ibu Dosen Program Studi S2 Ilmu Fisika Pascasarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta yang telah memberikan pendidikan dan pengajaran dalam Ilmu Fisika.
6. Kedua orang tua (Bapak-Ibuk) yang selalu memberikan dukungan baik doa, motivasi, finansial, tenaga, nasehat dan kasih sayangnya, mbak Nita serta keluarga semua yang selalu mendoakan dan memberikan semangat kepada penulis.
7. Rekan-rekan sejawat Magister Ilmu Fisika angkatan Maret 2015 mbak Yuliana, Dewa, mas Edy, Novita (patner penelitian, temen seperjuangan). Terimakasih atas kenangan terindahya selama kebersamaan kita, senang bisa mengenal kalian. Spesial untuk Adfal Afdala, terimakasih untuk semangat, dukungan, bantuan dan kesabarannya selama ini, semoga langkah dan rencana kita ke depan senantiasa diberi kelancaran. Aamiin.

8. Teman-teman Laboratorium Fisika Material Universitas sebelas Maret, teman-teman tim riset R.Suryana dan sahabat-sahabat semuanya, terimakasih atas saran dan kritik serta dukungan dari kalian semua.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam proses penyusunan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa dalam tesis ini masih terdapat kekurangan dan kesalahan, hal ini dikarenakan kemampuan penulis yang sangat terbatas. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun sebagai acuan tahapan penulisan selanjutnya. Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Surakarta, Desember 2017

Penulis

HALAMAN PERSEMBAHAN dan MOTTO

Karya tulis berupa Tesis ini saya Persembahkan kepada:

Orangtua saya, Bapak (Tri Priyanto) –Ibu (Sri Hardina) yang selalu memberikan dukungan baik doa, motivasi, materiil, tenaga, nasehat dan kasih sayangnya yang tak terbatas. Terimakasih Pak, Bu.

Bapak/ibu Dosen S2 Ilmu Fisika UNS, Bapak Pembimbing I dan II, teman-teman dari Ilmu fisika angkatan maret 2015 dan group riset lab material FMIPA, saudara, teman, sahabat dan *beloved* Adfal Afdala, S.Pd, M.Si di UIN STS Jambi.

”Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai dari suatu urusan, kerjakanlah dengan sungguh-sungguh urusan yang lain, dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap. (Q.S. Al Insyirah, 6-8)”

Learn from yesterday, live for today, hope for tommorow. (Albert Einstein). Banyak kegagalan dalam hidup ini dikarenakan orang-orang tidak menyadari betapa dekatnya mereka dengan keberhasilan saat mereka menyerah. (Thomas Alva Edison).

Tak seorangpun yang dapat memprediksi apa yang akan terjadi nanti, bisa jadi saat ini kita menangis sedih, satu menit kemudian kita tertawa bahagia. Jangan terlalu larut akan suatu hal dan selalu mensyukuri apa telah didapat. (Penulis).

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PENGESAHAN PEMBIMBING TESIS	ii
PENGESAHAN PENGUJI TESIS	iii
PERNYATAAN KEASLIAN DAN PERSYARATAN PUBLIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERSEMBAHAN DAN MOTTO	vii
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	4
BAB II LANDASAN TEORI	
A. Tinjauan Pustaka	5
1. Sel Surya	5
2. <i>Dye Sensitized Solar Cells</i> (DSSC)	5
a. Elektroda Kerja	7
b. Zat Pewarna (<i>dye</i>) Organik Alam	7
c. Elektrolit	8
d. Elektroda Lawan	8
e. Metode <i>Electrospinning</i>	9
3. Sel Surya Organik (SSO)	10
a. Semikonduktor Organik	14
b. Prinsip Sel Surya Organik	15
c. Karakterisasi Sel Surya	18
c.1. <i>Scanning Electron Microscopy</i>	18

c.2. Spektrometer UV-Vis	19
c.3. <i>I-V Keithley</i>	20
B. Penelitian yang Relevan	21
C. Kerangka Berfikir	23
1. <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC)	23
2. Sel Surya Organik (SSO)	24
D. Hipotesis	25

BAB III METODE PENELITIAN

A. Tempat Penelitian	26
B. Waktu Penelitian	26
C. Tatalaksana Penelitian	26
1. Alat dan Bahan Penelitian	26
2. Metode Penelitian	28
3. Prosedur Penelitian	29
a. Persiapan	29
a.1. Pembuatan pasta TiO ₂ nanopartikel	30
a.2. Deposisi TiO ₂ nanopartikel	30
b. Prosedur Penelitian DSSC	30
b.1. Pembuatan larutan TiO ₂ nanofiber.....	30
b.2. Ekstraksi lumut <i>dye</i> klorofil.....	31
b.3. Deposisi larutan TiO ₂ nanofiber menggunakan elektrospining	32
b.4. Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	33
b.5. Pembuatan elektroda kerja	34
b.5.1. Persiapan substrat FTO	34
b.5.2. Pelapisan TiO ₂ nanopartikel di atas TiO ₂ nanofiber	34
b.5.3. Pelapisan TiO ₂ nanofiber di atas TiO ₂ nanopartikel.....	35
b.5.4. Perendaman lapisan TiO ₂ dengan <i>dye</i> klorofil	35
b.6. Pembuatan larutan elektrolit	36
b.7. Pembuatan elektroda lawan	36
b.8. Fabrikasi DSSC	37
b.9. Karakterisasi sifat optik (spektrum absorbansi)	37
b.10. Karakterisasi SEM lapisan TiO ₂ nanofiber	38

b.11. Karakterisasi <i>I-V</i> pada DSSC	39
c. Prosedur Penelitian SSO	39
c.1. Pembuatan larutan MEH-PPV	39
c.2. Persiapan PEDOT:PSS	39
c.3. Deposisi larutan MEH-PPV	39
c.4. Karakterisasi SEM	40
c.5. Pembuatan elektroda kerja	40
c.5.1. Persiapan substrat FTO	40
c.5.2. Pelapisan TiO_2 / MEH-PPV	41
c.5.3. Pelapisan TiO_2 / PEDOT:PSS / MEH-PPV	42
c.6. Deposisi elektroda aluminium	43
c.7. Fabrikasi SSO	44

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC)	46
1. Karakterisasi SEM TiO_2 nanofiber	46
2. Karakterisasi <i>dye</i> lumut	49
3. Karakterisasi sifat optik DSSC	51
4. Karakterisasi sifat listrik DSSC	53
B. Sel Surya Organik (SSO)	58
1. Karakterisasi sifat optik lapisan MEH-PPV	58
2. Karakterisasi SEM ketebalan MEH_PPV	59
3. Karakterisasi sifat optik tanpa PEDOT:PSS	60
4. Karakterisasi sifat optik dengan PEDOT:PSS	62
5. Karakterisasi sifat listrik <i>I-V</i> meter	63
6. Karakterisasi sifat listrik tanpa PEDOT:PSS	66
7. Karakterisasi sifat listrik dengan PEDOT:PSS	68

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	73
B. Saran	73

DAFTAR PUSTAKA	74
-----------------------------	----

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Jadwal Penelitian	26
Tabel 4.1. Hasil efisiensi TiO ₂ nanofiber di atas nanopartikel	54
Tabel 4.2. Hasil efisiensi TiO ₂ nanopartikel di atas nanofiber	56
Tabel 4.3. Hasil pengukuran ketebalan lapisan MEH-PPV	60
Tabel 4.4. Hasil perhitungan efisiensi tanpa PEDOT:PSS	67
Tabel 4.5. Hasil perhitungan efisiensi dengan PEDOT:PSS	69
Tabel 4.6. Hambatan terukur pada elektroda di atas bahan organik.....	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur Umum DSSC.....	6
Gambar 2.2. Skema pembuatan fiber dengan alat <i>electrospinning</i>	9
Gambar 2.3. Struktur kimia MEH-PPV	11
Gambar 2.4. Struktur Kimia a.PEDOT, b. PSS.....	13
Gambar 2.5. Bagan klasifikasi bahan organik berdasarkan pembuatan dan sifat mekaniknya.....	15
Gambar 2.6. Empat tahapan proses pembangkit <i>photocurrent</i> dalam sel surya organik.....	17
Gambar 2.7. Skema kerja spektrofotometer <i>UV-Vis</i>	21
Gambar 2.8. Karakteristik kurva I-V pada sel surya	22
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian DSSC.....	28
Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian SSO.....	39
Gambar 3.3. Deposisi larutan TiO ₂ nanofiber: a. Larutan TiO ₂ dalam <i>syringe</i> , b. Alat <i>electrospinning</i>	33
Gambar 3.4. Sel aktif FTO (1x2) cm	34
Gambar 3.5. Fabrikasi DSSC: a. Skema fabrikasi sel surya berbasis DSSC b. Skema penempatan <i>spacer</i> pada DSSC.....	37
Gambar 3.6. Hasil fabrikasi DSSC siap karakterisasi <i>I-V</i>	37
Gambar 3.7. Skema pengukuran I-V DSSC pada kondisi terang Menggunakan Keithley 2602A.....	38
Gambar 3.8. Persiapan substrat FTO: a. Skema area konduktif kaca FTO, b. Area konduktif FTO yang ditutup kertas, c. Area FTO yang ditutup selotip	41
Gambar 3.9. Skema struktur SSO FTO/TiO ₂ /MEH-PPV/Al	42
Gambar 3.10. Skema struktur SSO FTO/TiO ₂ /PEDOT:PSS/MEH-PPV/Al.....	43
Gambar 4.1. Hasil foto SEM TiO ₂ nanofiber.....	47
Gambar 4.2. Hasil foto SEM ketebalan lapisan TiO ₂ nanofiber dengan variasi waktu: a. 10 menit, b. 15 menit, c. 20 menit.....	48
Gambar 4.3. Absorbansi dye lumut.....	50
Gambar 4.4. Absorbansi dari modifikasi TiO ₂ : a. TiO ₂ nanofiber di atas nanopartikel, b. TiO ₂ nanopartikel di atas TiO ₂ nanofiber.....	52

Gambar 4.5 Grafik arus-tegangan DSSC Nanofiber di atas nanopartikel	53
Gambar 4.6 Grafik arus-tegangan DSSC Nanopartikel di atas nanofiber	55
Gambar 4.7 Morfologi lapisan nanofiber TiO_2 menggunakan CCD kamera AFM dengan variasi waktu pelapisan:	
a. 10 menit, b. 15 menit, c. 20 menit	57
Gambar 4.8 Grafik absorbansi polimer MEH-PPV	58
Gambar 4.9 Hasil foto SEM lapisan MEH-PPV:	
a. 1 lapis, b. 2 lapis, c. 3 lapis, d. 4 lapis	59
Gambar 4.10 Grafik absorbansi FTO/ TiO_2 /MEH-PPV (tanpa PEDOT:PSS)	61
Gambar 4.11 Grafik absorbansi FTO/ TiO_2 /PEDOT:PSS/MEH-PPV (dengan PEDOT:PSS)	63
Gambar 4.12 Sampel siap uji I - V meter	64
Gambar 4.13 Grafik karakterisasi I - V dari beberapa variasi struktur PEDOT:PSS dengan 1 lapis MEH-PPV	65
Gambar 4.15 Hasil pengukuran karakterisasi I - V tanpa PEDOT:PSS	66
Gambar 4.16 Hasil pengukuran karakterisasi I - V dengan PEDOT:PSS	68